

# Metodología para el diseño del sistema de control en aplicaciones de corrección de posicionamiento de productos en procesos de manufactura: aplicación de orientación de botellas

Ing. Eloy Zanja García<sup>1</sup>, M.C. Ernesto Chavero Navarrete<sup>2</sup>.

**Resumen**—En este artículo se describe una metodología para realizar el algoritmo de control para aplicaciones de manufactura en donde se requiere orientar el material en una posición específica para garantizar la calidad del producto. Esta metodología es aplicable en procesos en donde la orientación de productos de forma mecánica cuenta con deficiencias, exceso de dimensiones o tiene un alto índice de piezas rechazadas. El sistema de control propuesto consiste en la interacción mediante un PLC entre un sensor de visión con equipos de control de movimiento, en donde el sensor determina la posición inicial del producto, esta posición es enviada y procesada al PLC en donde el algoritmo determinará cuál es el error de la posición el cual será corregido mediante un servomotor. La metodología propuesta se valida mediante el caso de estudio de la preparación de la botella de vidrio en el proceso de etiquetado por serigrafía.

**Palabras clave**—visión artificial, control de movimiento, corrección de posición, procesos de manufactura.

## Introducción

En los procesos de manufactura, principalmente en aplicaciones de llenado, etiquetado, sellado, ensamblaje, control de calidad, entre otras, es necesario orientar los materiales antes de comenzar un proceso. En muchas de estas aplicaciones se aprovecha el traslado del material para realizar la orientación, la cual se hace de forma mecánica por medio de sistemas bowl feeder y orientadores mecánicos por inercia y por gravedad. En algunos casos es necesario que el diseño del producto cuente con una referencia mecánica para tener una orientación específica para comenzar un proceso, en nuestro caso de estudio, la botella de vidrio tiene una muesca (registro) en la base inferior, este registro orienta la botella en una posición en donde la etiqueta no interfiere con las costuras de la botella, esto con el fin de garantizar la calidad del etiquetado.

Dados los avances en la automatización industrial, existen equipos electrónicos que ayudan a realizar la orientación de productos mediante sistemas de visión artificial, bandas inteligentes, sistemas robóticos de manipulación de tipo pick and place y robots delta, por medio de estas integraciones es posible realizar orientación de materiales a altas velocidades con productos a granel. En la actualidad, los OEM (Original Equipment Manufacturer) tienen la necesidad de implementar sistemas que se adapten a diversos modelos de productos, por lo tanto los sistemas de visión artificial y de control de movimiento están jugando un rol muy importante debido a que gracias a estos dispositivos ha sido posible reemplazar sistemas mecánicos complejos, ahorrando espacios, logrando cambios de modelos de forma automática y reduciendo elementos mecánicos de fabricación especial (levas, engranajes, etc.).

Los OEM tratan de aprovechar las bondades de los equipos electrónicos con la finalidad de reducir el uso y diseño de mecanismos especiales y complejos, logrando la corrección de posición y manipulación de productos en tiempos más cortos y en movimiento (al vuelo) si la aplicación lo permite. Sin embargo, en las líneas de producción existen máquinas que aún realizan la orientación de productos mediante métodos completamente mecánicos, por lo tanto, la metodología descrita a continuación está diseñada para la migración de sistemas de orientación mecánicos a sistemas de orientación con equipos electrónicos, con la finalidad de poder implementar sistemas más sencillos y confiables y de esta manera mejorar de la productividad de la maquinaria que se encuentra actualmente produciendo, realizando las menores modificaciones posibles al proceso.

## Metodología empleada.

### 1. Dimensionamiento de Hardware:

<sup>1</sup> Ing. Eloy Zanja García estudiante de la Maestría en Manufactura Avanzada del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ).  
[eloyzanja@gmail.com](mailto:eloyzanja@gmail.com)

<sup>2</sup> M.C. Ernesto Chavero Navarrete profesor investigador del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ).  
[ernesto.chavero@ciateq.mx](mailto:ernesto.chavero@ciateq.mx)

La selección de los equipos de control a utilizar se divide en 3 secciones: sistema de visión, controlador lógico programable (PLC) y sistema de control de movimiento, los cuales interactuarán mediante el protocolo de comunicación Modbus y CANOpen para realizar la corrección de posición en tiempo real. Todos los equipos y softwares utilizados para esta integración son de la marca FESTO, sin embargo, la secuencia de la metodología esta desarrollada para ser compatible con equipos de control de diversas marcas, en la figura 1 se muestra la topología de hardware propuesta para nuestra aplicación.



Figura 1. Topología de Hardware.

### 1.1 Selección de sistema de visión:

Las imágenes captadas en los sistemas de visión industriales son de tipo monocromáticas, gracias a estas capturas es posible realizar la extracción de las propiedades geométricas del producto, en donde posteriormente la captura pasará a la etapa de procesamiento en donde será sometida a análisis numérico o de medición dependiendo de la aplicación. P. K. SINHA (2012) determina que la calidad de la captura dependerá de la combinación del sensor de visión, del lente y del sistema de iluminación, los cuales se seleccionan en función a las propiedades de la pieza a analizar, así como a las condiciones y ambiente de trabajo. Para nuestra aplicación, debido a que todas las botellas de vidrio fabricadas por el método de soplado cuentan con una “costura” (unión a lo largo de botella) la cual se usa como punto de referencia para determinar el error en la posición. Debido a que se requiere obtener la coordenada de la costura con respecto al borde, se selecciona la cámara de visión monocromática SBOC-Q-R2B la cual tiene la herramienta “EDGE” esta herramienta se encarga de generar las coordenadas con respecto a una referencia. De acuerdo a los estudios realizados por F.C CAMPBELL (2013) concluye que la iluminación es una parte crítica en los sistemas de visión ya que la cámara recopila información generada mediante la influencia de luz captada con respecto al objeto a evaluar, por lo tanto, en base al manual de la cámara SBOC se indica que para aplicaciones en donde se realiza la verificación de contornos en objetos transparentes y niveles de líquidos incoloros, es necesario agregar una luz externa de tipo “Back light”, en la figura 2 se muestra el arreglo y montaje del sistema de visión propuesto.

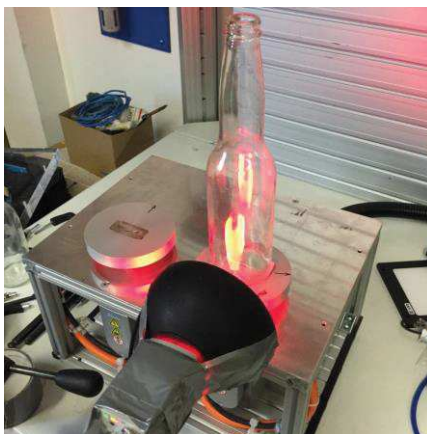


Figura 2. Topología de Hardware.

### 1.2 Selección de equipos de control de movimiento:

El dimensionamiento del sistema de control de movimiento requerido para la corrección de posición dependerá de diversos factores tales como: el momento de inercia de la masa a manipular, posición de montaje, existencia de fuerzas externas, tiempo ciclo del movimiento, acometida eléctrica etc. En nuestro caso de estudio el factor principal para realizar la selección del equipo depende del momento de inercia de la botella de vidrio, el cual se estimó mediante la herramienta de cálculo de inercia del software para dimensionamiento de equipos de control de movimiento PositioningDrives, la inercia estimada de la botella de vidrio resulto de:  $0.92 \text{ kgcm}^2$ , considerando la posición de montaje en vertical y una acometida eléctrica monofásica a 110V, los resultados obtenidos mediante software, proponen la combinación de los siguientes equipos de la marca FESTO para realizar la manipulación de la botella los cuales se muestran en la figura 3.

- Servomotor: EMMS-AS-55-S-LS-TM
- Resistencia de frenado: CACR-LE2-72-W500
- Controlador: CMMP-AS-C2-3A-M0

<p><b>Result No. 3</b> </p> <p>Please ensure that the following dynamic values the dimensioning is based on do not exceed the limit values of your equipment</p> <p>Speed: 1290 rpm                  Acceleration: 110997 rpm/s                  Deceleration: 110997 rpm/s</p>	<p><b>Selected drive</b> <a href="#">Additional Information (PDF): Click image</a></p> <table border="0"> <tr> <td data-bbox="448 1283 602 1539">Axis</td> <td data-bbox="610 1283 781 1539"> <p>Motor</p>  <p>EMMS-AS-55-S-LS-xx No gear</p> </td> <td data-bbox="789 1283 964 1539"> <p>Controller</p>  <p>CMMP-AS-C2-3A-Mx Power section 230 VAC (Single-phase)</p> </td> </tr> </table>	Axis	<p>Motor</p>  <p>EMMS-AS-55-S-LS-xx No gear</p>	<p>Controller</p>  <p>CMMP-AS-C2-3A-Mx Power section 230 VAC (Single-phase)</p>	<p><b>Overview about performance data</b></p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>Required</td> </tr> <tr> <td>Mass moment of inertia</td> <td>0.92 kgcm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Distance of centre of gravity to rotary axis</td> <td>0 mm</td> </tr> <tr> <td>Moving mass: 0.163 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>External torque</td> <td>0 Nm</td> </tr> <tr> <td>Travel time + Dwell time</td> <td>0.493 s</td> </tr> <tr> <td>Dwell time</td> <td>0.4 s</td> </tr> </table>		Required	Mass moment of inertia	0.92 kgcm <sup>2</sup>	Distance of centre of gravity to rotary axis	0 mm	Moving mass: 0.163 kg		External torque	0 Nm	Travel time + Dwell time	0.493 s	Dwell time	0.4 s
Axis	<p>Motor</p>  <p>EMMS-AS-55-S-LS-xx No gear</p>	<p>Controller</p>  <p>CMMP-AS-C2-3A-Mx Power section 230 VAC (Single-phase)</p>																	
	Required																		
Mass moment of inertia	0.92 kgcm <sup>2</sup>																		
Distance of centre of gravity to rotary axis	0 mm																		
Moving mass: 0.163 kg																			
External torque	0 Nm																		
Travel time + Dwell time	0.493 s																		
Dwell time	0.4 s																		

Figura 3. Resultado de dimensionamiento de equipo obtenido con el software PositioningDrives.

### 1.3 Selección de Controlador Lógico Programable:

De acuerdo con Y. Jaganmohan Reddy (2015) un PLC tiene los componentes funcionales básicos como lo es procesador, la memoria, la unidad de alimentación, la sección de interfaz de entrada / salida, la interfaz de comunicaciones y el dispositivo de programación. La selección del PLC (Programmable Logic Controller) dependerá de los protocolos de comunicación requeridos entre los dispositivos de control, así como de los recursos de procesamiento demandados para la aplicación. El sistema de visión SBOC-Q-R2B cuenta con compatibilidad de

comunicaciones basadas en Ethernet como lo son: TCP/IP, EasyIP, Telnet y Modbus TCP y el controlador del servomotor CMMP cuenta con las siguientes posibilidades de comunicación: CANOpen y Modbus TCP. Dados los requerimientos de comunicación, se selecciona el PLC CECC-LK el cual tiene las siguientes características técnicas: procesador de 400 MHz, comunicación CANOpen, TCP/IP, EasyIP y Modbus TCP.

## 2. Desarrollo de Software:

Para el desarrollo del algoritmo de control se utilizaron diversos softwares de parametrización distribuidos por la marca FESTO y el programa fue desarrollado en la plataforma de programación CODESYS V3, mediante bloques de funciones de la librería Festo\_Motion\_FHPP\_3 para realizar los movimientos del servomotor para realizar la corrección de posicionamiento. Para realizar la comunicación e interacción entre los dispositivos se creó una red con la siguiente estructura: comunicación entre SBOC-Q-R2B y CECC-LK mediante Modbus TCP para el envío de captura de imagen, la comunicación entre el CECC-LK se realiza mediante el bus de campo CANOpen configurado a una velocidad de transmisión de datos de 1000kBits/s por el cual el PLC enviara la posición y velocidad objetivo del servomotor para realizar la corrección de posición.

### 2.1 Adquisición de imagen:

Para el proceso de adquisición de imagen, se realizó la parametrización del sistema de visión SBOC-Q-R2B mediante el software CheckKon, con las siguientes consideraciones: distancia entre sistema de visión y el objeto a inspeccionar de 200 mm, iluminación externa black light, ángulo de detección de la cámara de 140°. En CheckKon se colocan dos herramientas de inspección para hacer la detección, al realizar la captura de la imagen se aprecia la costura, pero dependiendo del corrimiento de la costura de la botella, la referencia se puede apreciar del lado izquierdo o del lado derecho por lo que es necesario colocar las dos herramientas de detección para abarcar los dos posibles casos de detección de costura, esta configuración se muestra en la figura 4.

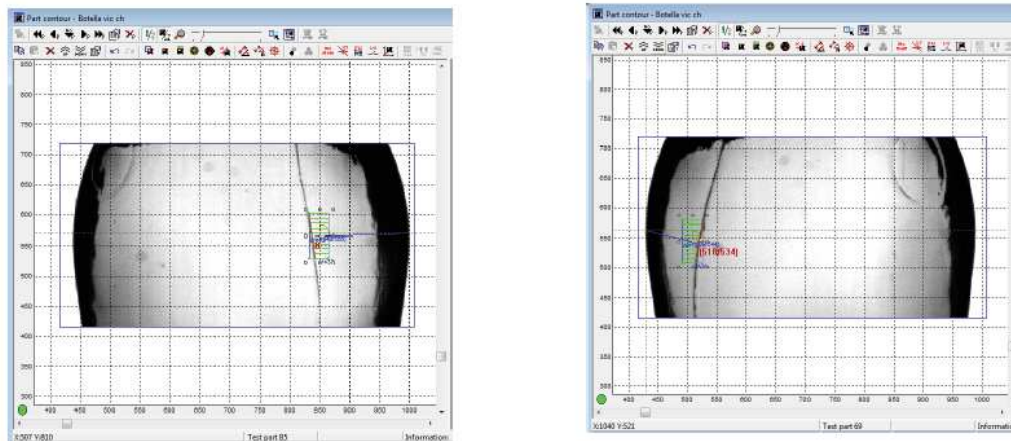


Figura 4. Configuración de las dos herramientas de detección en software CheckKon.

### 2.2 Procesamiento de Imagen.

F.C CAMPBELL (2013) concluye que el procesamiento de imagen comienza con el envío de la captura de imagen realizada por la cámara, esto consiste en una serie de niveles de voltaje que representan la intensidad de luz sobre el área del producto a evaluar, posteriormente la imagen preliminar es procesada mediante el procesador de la cámara el cual genera el formato necesario para realizar el análisis. Una vez generada la imagen en el CPU del SBOC-Q-R2B se analiza la imagen y se determinan las coordenadas a las que se encuentra la costura de la botella, estas coordenadas son enviadas mediante el bus de campo Modbus TCP al PLC CECC-LK, el cual escribe el valor de las coordenadas en una variable del programa de tipo doble entero (DINT), este valor se almacena en una memoria del PLC y lo escribe en el bloque de función de resta para comparar la posición actual con la posición objetivo del

producto, el resultado de esta resta será el desplazamiento que deberá de hacer el servomotor para corregir la posición, en la figura 5 se muestra la coordenada de la botella obtenida por el software CheckKon.

Info	Tool	Feature	Value	Devi.	D
1.	EDGE	X coord. edge	987.78 [Fixe]	-10.60%	
2.		Y coord. edge	561.56 [Fixe]	5.97%	
3.	EDGE 2	X coord. edge	invalid	0.00%	
4.		Y coord. edge	invalid	0.00%	
5.		Angle of edge	invalid	0.00%	
6.		Number of valid points	invalid	559.99%	
7.	EDGE 1	X coord. edge	429.13 [Fixe]	-18.11%	>
8.		Y coord. edge	563.00 [Fixe]	-6.61%	>
9.	EDGE 1 1	X coord. edge	517.57 [Fixe]	0.00%	X
10.		Y coord. edge	534.29 [Fixe]	0.00%	
11.		Angle of edge	79.61 [°]	0.00%	
12.		Number of valid ports	07.00	0.00%	
13.	MATH/LOGIC	F1 + F2	07.00	-17.39%	

Figura 5. Coordenadas obtenidas por el software CheckKon.

### 2.3 Corrección de la posición.

Los sistemas de control de movimiento consisten en un lazo de control cerrado integrado por un servomotor y un driver, el servomotor a diferencia de un motor convencional, cuenta con un sensor de posición, mejor conocido como encoder el cual FERNANDO REYES CORTES (2011) lo define como "un sensor digital utilizado para realizar la medición de posición y/o velocidad, un encoder es un disco codificado mediante ranuras que se encuentran grabadas en el disco, al girar el disco pasa por una fotocélula la cual detecta la luz a través de las ranuras, generando una serie de pulsos eléctricos", el encoder retroalimenta al driver la posición en tiempo real en la que se encuentra el motor, lo cual permite dar soluciones en tareas de posicionamiento, sincronización, control de velocidad, aceleración y torque.

Para nuestra aplicación, el driver a utilizar es el modelo CMMP-AS-C2-3A-M0, el cual se parametriza mediante el software Festo Configuration Tool, en este software se determina la posición de montaje y el momento de inercia de la masa a manipular, en base a estos datos el software hace al cálculo del lazo cerrado (Closed Loop) para determinar las ganancias de current control, velocity control y position control para garantizar la manipulación óptima de la botella. Una vez parametrizado el servomotor, se establece la comunicación con el PLC CECC-LK en donde la comunicación entre estos equipos es por medio del bus de campo CANOpen, en la plataforma de programación del PLC (Codesys V3) se de alta la librería Festo\_Motion\_FHPP\_3 y se agrega el bloque de funciones FHPP\_CTRL, en donde en base al resultado obtenido en la etapa de procesamiento de imagen, se escribirá en la variable SetValuePosition el valor de la posición a la que se desea llegar para que la botella llegue a la posición deseada.

## Comentarios Finales

### Conclusiones

De acuerdo con el estudio realizado se concluye la viabilidad de implementar sistemas de orientación de productos basados en el uso de tecnologías de sistemas de visión y servo posicionamiento con la finalidad de tener líneas de producción modulares capaces de realizar orientación de productos sin necesidad de diseñar y manufacturar sistemas mecánicos de alta complejidad los cuales pueden ser remplazados por equipos electrónicos e implantarlos mediante la metodología descrita en este documento. Esta metodología puede ser aplicada a aplicaciones de llenado, etiquetado, sellado, ensamblaje y de control de calidad, además de ser adaptable a hardware y software de diferentes proveedores. La implementación de estos sistemas beneficia a las líneas de producción reduciendo la cantidad de desperdicios ocasionados por el desgaste y el margen de error contenido en los equipos de orientación mecánicos.

## Referencias

CheckKon Version 4.3 Rel. 06 Copyright Festo AG & Co. KG 2016.

CODESYS V3.5 SP10 Patch 4 pbf Copyright Festo AG & Co. KG 2017. Copyright 1994-2013 by 3S – Smart Software Solutions GmbH.

Compact Vision System. Manual Compact Vision System SBO...-Q. 548319 en 1602e [8059655], Esslingen, Germany, 2011.

F.C CAMPBELL. Inspection of Metals. United States of America: ASM International, 2013.

FERNANDO REYES CORTES. Robótica: Control de robots manipuladores. Alfaomega, México, 2011. Capítulo 2, pag 53-54.

Festo Configuration Tool Versión V1.3.1 Copyright Festo AG & Co. KG 2004-2016.

Manual P.BE-CMM-FHPP-SW-ES Festo Handling and Positioning Profile, Festo AG & Co. KG, D-73726 Esslingen, Alemania, 2013

P. K. SINHA. Image Acquisition and Preprocessing for Machine Vision Systems. Bellingham, Washington USA: SPIE Press, 2012.

Positioning Drives Versión 2.3.24. Copyright Festo AG & Co. KG 2006-2018.

Y. Jaganmohan Reddy. Industrial Process Automation Systems Design and Implementation. Oxford OX5 1GB, UK. Elsevier Inc, 2015.